

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Januar 2003 (16.01.2003)

PCT

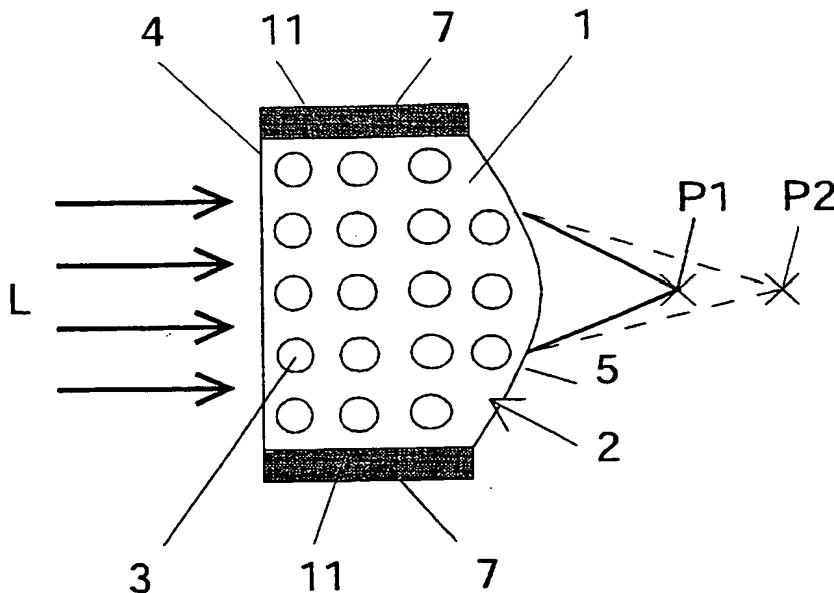
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/005119 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02F 1/29 ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstr. 54, 80636
München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/06134
- (22) Internationales Anmeldedatum: 4. Juni 2002 (04.06.2002) (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FEISST, Arno
[DE/DE]; Waldstr. 29, 79194 Gundelfingen (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: GRÜNECKER, KINKELDEY, STOCK-
MAIR & SCHWANHÄUSSER; Maximilianstr. 58,
80538 München (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 101 32 850.8 6. Juli 2001 (06.07.2001) DE (81) Bestimmungsstaat (national): US.
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Aus-
nahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEFLECTING DEVICE AND METHOD FOR DEFLECTING ELECTROMAGNETIC WAVES, OPTICAL
ELEMENT THEREFOR, AND METHOD FOR PRODUCING PHOTONIC STRUCTURES

(54) Bezeichnung: ABLENKEINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ABLENKUNG ELEKTROMAGNETISCHER WEL-
LEN UND OPTISCHES ELEMENT HIERFÜR, SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG PHOTONISCHER STRUKTU-
REN



(57) Abstract: The invention relates to a device and method for influencing electromagnetic waves and to an optical element there-
for, whereby the optical element is comprised of a material having electro-optical and/or magneto-optical and/or piezoelectrical
properties and has at least one photonic structure provided in a section. The invention also relates to a method for producing pho-
tonic structures, particularly in optical elements of the aforementioned type.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/005119 A2

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Beeinflussung elektromagnetischer Wellen und ein optisches Element hierfür, wobei das optische Element aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material besteht und zumindest eine in einem Teilbereich ausgebildete photonische Struktur aufweist, sowie ein Verfahren zur Herstellung von photonischen Strukturen, insbesondere bei solchen optischen Elementen.

Ablenkeinrichtung und Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen und optisches Element hierfür, sowie Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen

Die Erfindung betrifft eine Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen mit einem optischen Element, ein Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen, ein optisches Element zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen mit zumindest einer in einem Teilbereich ausgebildeten photonischen Struktur sowie ein Verfahren zur Herstellung entsprechender photonischer Strukturen.

Optische Elemente zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen, Ablenkeinrichtungen für elektromagnetische Wellen und Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen finden insbesondere in Bereichen Anwendung, in denen ein Lichtstrahl, meist ein Laserstrahl, als Schreibstrahl eingesetzt wird, beispielsweise bei Druck, Belichtungs- und Bearbeitungsvorgängen oder in Druck- und Kopiereinrichtungen.

Im Stand der Technik bekannte, beispielsweise kommerziell genutzte Einrichtungen und Verfahren zu einer räumlichen Führung und insbesondere Ablenkung von Lichtstrahlen sind häufig auf mechanischen Bauelementen wie Schwingspiegel oder Polygonelementen basiert. Jedoch erreichen derartige Einrichtungen und Verfahren typischerweise lediglich Ablenkänderungsgeschwindigkeiten von einem Grad pro Mikrosekunde. Nachteilig ist weiterhin der bei diesen Einrichtungen auftretende Verschleiß und die notwendige Kühlung der bewegten mechanischen Bauelemente. Aufgrund des dementsprechend hohen apparativen Aufwandes sind solche Einrichtungen und Verfahren zudem teuer.

Nachteilig an bekannten elektrooptischen Einrichtungen und Verfahren ist, daß mit diesen nur ein eingeschränkter Winkelbereich gegenüber den bekannten mechanisch basierten Einrichtungen und Verfahren erfaßbar ist. Dementsprechend ist ein Anwendungsbereich der bekannten elektrooptischen Einrichtungen und Verfahren beschränkt.

Anwenderseitig besteht somit ein Bedarf an ohne bewegte Massen arbeitende Ablenkeinrichtungen und Verfahren, die eine erhöhte Lebensdauer aufgrund einer Vermeidung von Verschleißerscheinungen aufweisen und zudem einen Lichtstrahl schnell und über einen großen Winkelbereich führen können.

Als optische Elemente, insbesondere zur Verwendung in Ablenkeinrichtungen und Verfahren, die die beschriebenen Nachteile nicht aufweisen, können photonische Kristalle (im folgenden auch als „PC“ bezeichnet) dienen. Photonische Kristalle sind Strukturen mit periodisch variierendem Brechungsindex in einer (1D), zwei (2D) oder drei (3D) Raumrichtungen. Diese Periodizität führt zu einer Beeinflussung der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle, vergleichbar der Beeinflussung von Elektronenwellen in Halbleitermaterialien. Es entstehen „Bänder“, in denen sich die Photonen ausbreiten können, und es treten bei entsprechender Auslegung der Struktur, insbesondere Geometrie, Periodizität und Verhältnis der optischen Dicke und Brechungsindizes der beteiligten Materialien sogenannte verbotene Zonen („Bandlücken“) auf, d.h. es entstehen Frequenzbereiche, für die eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle nicht möglich ist. Die „Gitterabstände“ der photonischen Kristalle („Periodenlänge“ der photonischen Kristalle), müssen dabei im Bereich der Wellenlänge des verwendeten Lichtes liegen, d.h. für sichtbares Licht sind Periodenlängen im Bereich einiger Hundert Nanometer gefordert.

Gemäß den im Stand der Technik bekannten Modellen zur Beschreibung photonischer Kristalle ist die Steigung der Bänder an den Rändern der photonischen Bandlücken („Bandkanten“) und damit auch der entsprechende Brechungsindex stark nicht linear. Dies führt zu stark unterschiedlichen Brechungsindizes für verschiedene Wellenlängen des eingestrahlteten Lichtes, d.h. zu einer großen Dispersion in den entsprechenden Wellenlängenbereichen.

Ein PC-Prisma, bei dem eine Auslegung der Periodenlänge derart erfolgt, daß der Wellenlängenbereich der eingestrahlteten Welle dem Bereich der Bandkanten entspricht, kann gegenüber einem aus einem herkömmlichen Material hergestellten Prisma eine rund 100× größere Dispersion aufweisen, wie beispielsweise in Lin, S.Y.; Hietala, V.M.; Wang, L., et al., Highly dispersive photonic band-gap prism, Opt. Lett. 21, 1771 (1996) gezeigt.

Falls die Bänder neben der Nichtlinearität zusätzlich eine Anisotropie aufweisen, können spezielle isoenergetische Dispersionsoberflächen im Wellenvektorraum erzeugt werden, wie in Kosaka H, Kawashima T, Tomita A, Notomi M, Tamamura T, Sato T, Kawakami S, Superprism phenomena in photonic crystals: Toward microscale lightwave circuits, J LIGHTWAVE TECHNOL 17: (11) 2032-2038 Nov 1999) gezeigt. Im Vergleich zu einem

konventionellen Prisma (ohne PC-Struktur) gleicher Dimension weist ein derartiges Prisma eine um bis zu 500× größere Strahlablenkung auf. Dementsprechend wird dieser Effekt als "Superprisma"-Effekt bezeichnet.

Im Stand der Technik sind eine Vielzahl an Verfahren zur Herstellung von photonischen Strukturen beschrieben. Nachteilig bei solchen Herstellungsverfahren ist, daß die meisten dieser Verfahren bisher nur aufwendig im Labor realisierbar sind. Zudem sind diese meist auf ein bestimmtes, durch das Verfahren selbst vorgegebene Material bzw. eine Materialklasse (beispielsweise Polymere) beschränkt. Neben den damit verbundenen Einschränkungen beim industriellen Einsatz eines solchen Verfahrens, besteht zusätzlich bisher häufig der Nachteil, daß periodische Strukturen im unteren Mikrometerbereich und darunter über größerer Bereiche nur schwer zuverlässig und reproduzierbar herzustellen sind.

Ein Ätz-Verfahren zur Herstellung von photonischen Strukturen ist für das Material Silizium beispielsweise in A. Birner et al., Phys. Stat. Sol (a) 165,111 (1998) beschrieben. Bei dem darin beschriebenen Verfahren ist nachteilig, daß ein Verhältnis von Kanaldurchmesser und Wandstärke verfahrensbedingt nur schwierig exakt einzustellen ist. Das Verhältnis kann nur annähernd und aufwendig in einem Folgeschritt erreicht werden, bei dem die Wände teilweise oxydiert werden und diese Schichten durch einen weiteren Ätzschritt abgetragen werden.

Das resultierende optische Element ist rein passiv, d.h. die Lichtwelle wird in einer durch die Struktur festgelegten Art und Weise beeinflusst und kann nicht aktiv von aussen beeinflusst, d.h. gesteuert werden. Weiterhin ist das Verfahren nicht auf beliebige andere Materialien, z.B. elektrooptische und damit steuerbare Dielektrika, anwendbar.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Ablenkeinrichtung der eingangs genannten Art und ein Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen derart zu verbessern, daß eine elektromagnetische Welle schnell und über einen großen Winkelbereich geführt werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einer Ablenkeinrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das optische Element zumindest teilweise aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufwei-

senden Material ausgebildet ist, und das optische Element zumindest in einem Teilbereich eine photonische Struktur aufweist.

Die erfindungsgemäße Ablenkeinrichtung weist keine mechanischen Bauteile zur Bewegung des optischen Elementes zwecks Beeinflussung der Lichtwelle auf. Demzufolge treten dadurch bedingte Verschleißerscheinungen nicht auf. Eine Notwendigkeit zur Kühlung solcher mechanischen Bauteile entfällt entsprechend.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn die photonische Struktur zumindest teilweise im elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material des optischen Elementes ausgebildet ist und wenn mindestens ein Brechungsindex des optischen Elementes und/oder zumindest eine Abmessung des optischen Elementes veränderbar ist.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel besteht das optische Element vollständig aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material. Zudem ist die photonische Struktur vorzugsweise im gesamten Körpervolumen des optischen Elementes ausgebildet. Beispielsweise weist das optische Element LiNbO_3 und/oder BaTiO_3 und/oder LiTaO_3 als elektrooptische Herstellmaterialien auf. Aus dem Bereich magnetooptischer Materialien sei beispielhaft die Gruppe der magnetooptischen Granate (z.B. YIG = Yttrium-Eisen-Granat) genannt

Das im Rahmen eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eingesetzte Herstellmaterial LiNbO_3 weist piezoelektrische und elektrooptische Eigenschaften auf, dementsprechend ist zumindest ein Brechungsindex und zumindest eine Abmessung des optischen Elementes veränderbar.

Nach dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Ablenkeinrichtung weist diese eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes auf, wobei ein mittels der Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes erzeugtes, elektrisches oder magnetisches Feld das optische Element zumindest teilweise und bevorzugt homogen durchsetzt. Dabei weist die Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes vorzugsweise mehrere Elektroden, insbesondere ein Elektrodenpaar auf, das vorzugsweise einander gegenüberlie-

gend und bevorzugt unmittelbar mit dem optischen Element in Kontakt angeordnet ist. Die Elektroden können dabei senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle oder in Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle angeordnet sein. Sind die Elektroden senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle angeordnet, so sind vorzugsweise streifenförmige Aussparungen als Eintrittsflächen bzw. Austrittsflächen für die elektromagnetische Welle vorgesehen.

Gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die photonische Struktur im wesentlichen periodisch angeordnete, insbesondere säulenförmige Hohlräume und/oder eine im wesentlichen periodisch angeordnete Struktur aus benachbarten säulenförmigen Bereichen auf. Die Hohlräume und/oder die säulenförmigen Bereiche sind dabei quer, insbesondere senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle angeordnet. Zudem sind die Hohlräume vorzugsweise als Kanäle ausgebildet, wobei die Kanäle im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel sind die Hohlräume mit Luft erfüllt. Dementsprechend weist die photonische Struktur beispielsweise eine Materialkombination LiNbO_3 /Luft auf. Die Hohlräume sind in weiteren Ausführungsbeispielen mit weiteren bzw. anderen, in fester oder flüssiger oder gasförmiger Phase oder in einem überlagerten Aggregatzustand der festen, flüssigen oder gasförmigen Phase vorliegenden Medien ausgefüllt.

Dabei weist die photonische Struktur einen sich entlang der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle periodisch verändernden Brechungsindex auf. Vorzugsweise ist der Brechungsindex der photonischen Struktur für die eingesetzte Lichtwellenlänge nicht linear. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die photonische Struktur einen anisotropen Brechungsindex aufweist, wobei eine Mehrzahl an isoenergetischen Dispersionsoberflächen in der photonischen Struktur ausgebildet sind.

Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen mit einem optischen Element sind in den weiteren Unteransprüchen dargelegt.

Für ein Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen wird die vorgenannte Aufgabe erfindungsgemäß durch eine Modulation eines Ablenkwinkels einer elektromagnetischen Welle mittels eines elektrooptischen und/oder piezoelektrischen Effektes durch

eine Modulation eines ein optisches Element durchsetzenden elektrischen Feldes oder mittels eines magnetooptischen Effektes durch eine Modulation eines das optische Element durchsetzenden magnetischen Feldes gelöst.

Mittels des Verfahrens zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen kann eine elektromagnetische Welle schnell, selektiv und exakt über einen grossen Winkelbereich beeinflußt werden.

Der Erfindung liegt des weiteren die Aufgabe zugrunde, ein optisches Element der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem ein das optische Element durchlaufender Lichtstrahl beeinflußbar ist.

Die vorgenannte Aufgabe wird bei einem optischen Element der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das optische Element zumindest teilweise ein elektrooptisches und/oder magnetooptisches und/oder piezoelektrisches Material aufweist.

Anwendungen des erfindungsgemäßen optischen Elementes ergeben sich beispielsweise in Druck-, Belichtungs- oder Bearbeitungsvorgängen, also bei Vorgängen mit einer elektromagnetischen Welle als Schreibstrahl. Ebenso ist das erfindungsgemäße optische Element als steuerbare optische Linse oder als steuerbarer optischer Schalter, beispielsweise für die optische Telekommunikation als Ein/Aus-Schalter verwendbar. Zudem ist das optische Element in wellenlängensteuerbaren Lasern und bei abstimmbaren Resonatoren für Laseranwendungen einsetzbar.

Es ist vorteilhaft, wenn das optische Element vollständig aus einem elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Eigenschaften aufweisenden Material besteht. Beispielsweise besteht das optische Element aus LiNbO_3 und/oder BaTiO_3 und/oder LiTaO_3 als elektrooptische Materialien bzw. YIG als magnetooptisches Material. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die photonische Struktur zumindest teilweise im elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Eigenschaften aufweisenden Material des optischen Elementes ausgebildet ist.

Vorzugsweise ist mindestens ein Brechungsindex des optischen Elementes und/oder zumindest eine Abmessung des optischen Elementes veränderbar. Dabei ist es vorteilhaft, wenn eine Außenkontur des optischen Elementes und/oder der photonischen Struktur als optische Linse oder als Prisma ausgebildet ist.

Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen optischen Elementes zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen mit einer zumindest in einem Teilbereich ausgebildeten photonischen Struktur sind in den weiteren Unteransprüchen dargelegt.

Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen zu schaffen, mit dem photonische Strukturen mit definierter Periode und Geometrie in steuerbaren optischen Bauelementen erzeugt werden können.

Die vorgenannte Aufgabe wird für ein Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen erfindungsgemäß durch Erzeugung einer periodischen, ferroelektrischen Domänenstruktur mit nachfolgendem selektiven Ätzen in einem elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Material gelöst.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung photonischer Strukturen können steuerbare optische Bauelemente präzise und in wenigen Prozeßschritten hergestellt werden. Zudem sind die steuerbaren optischen Komponenten mit den erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen im Batch-Verfahren und damit kostengünstig herstellbar.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn eine Vorstrukturierung des elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Materials derart erfolgt, daß zunächst entsprechend invertierte Domänenbereiche mittels eines lokal angelegten, elektrischen oder magnetischen Feldes erzeugt werden.

Vorzugsweise Domänenbereiche mit invertierter Polarisierung werden in einem insbesondere naßchemischen oder plasmachemischen Ätzschritt bevorzugt geätzt.

Mittels der unterschiedlichen polarisierten Domänenbereiche ist eine Periode und eine Geometrie der photonischen Struktur vorgegeben, wobei ein Ätzstopp mittels der Domänenwände vorgegeben wird.

Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung photonischer Strukturen sind in den weiteren Unteransprüchen dargelegt.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen und den zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

- Fig. 1 schematische Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels der Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen mit einem Ausführungsbeispiel des optischen Elementes,
- Fig. 2 schematische, räumliche Darstellung der Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach Fig. 1 mit einem weiteren Ausführungsbeispiel des optischen Elementes,
- Fig. 3 schematische, räumliche Darstellung der Ablenkeinrichtung nach Fig. 1 und 2 mit einem zusätzlichen, weiteren Ausführungsbeispiel des optischen Elementes,
- Fig. 4 schematische, räumliche Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen mit einem optischen Element nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3, und
- Fig. 5 eine schematische, räumliche Darstellung einer photonischen Struktur eines optischen Elementes nach Erzeugung einer periodischen ferroelektrischen Domänenstruktur und vor dem selektiven Ätzen.

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Ablenkeinrichtung mit einem ebenfalls bevorzugten Ausführungsbeispiel des optischen Elementes 1.

Das optische Element 1 weist demnach eine erste, im wesentlichen ebene Eintrittsfläche 4 für elektromagnetische Wellen L und eine zweite im wesentlichen konvex geformte Austrittsfläche 5 für die elektromagnetische Welle L auf. Neben dieser Ausführung sind auch andere Linsenformen möglich (bikonvex, bikonkav, konvex-konkav, plan-konkav etc.) Das optische Element 1 weist weiterhin eine photonische Struktur 2 auf, welche in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel im kompletten Körpervolumen des optischen Elementes 1 ausgebildet ist. Zudem ist nach diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel das optische Element 1 vollständig aus einem elektrooptische und piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material wie LiNbO_3 gebildet. Das im Rahmen dieses bevorzugten Ausführungsbeispiels genannte Herstellmaterial LiNbO_3 weist piezoelektrische und elektrooptische Eigenschaften auf, dementsprechend ist zumindest ein Brechungsindex und zumindest eine Abmessung des optischen Elementes veränderbar.

Die im optischen Element 1 ausgebildete photonische Struktur 2 weist periodisch angeordnete Hohlräume 3 in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel säulenförmige Kanäle mit kreisförmiger Querschnittsfläche auf, ohne auf dieses bevorzugte Ausführungsbeispiel festgelegt zu sein. So ist beispielsweise eine Änderung der Geometrie der Querschnittsfläche oder des Verhältnisses zwischen Querschnittsfläche und Länge der Kanäle 3 ohne wesentliche Veränderungen des optischen Elementes, des Ablenkverfahrens, der Ablenkeinrichtung oder des Herstellverfahrens möglich.

Diese Kanäle 3 sind mit Luft gefüllt, dementsprechend besteht die photonische Struktur aus der Materialkombination LiNbO_3 /Luft, wiederum ohne auf dieses bevorzugte Ausführungsbeispiel festgelegt zu sein. In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind diese Kanäle 3 mit einem weiteren Material gefüllt, welches in fester, flüssiger oder gasförmiger Phase oder in einem überlagerten Aggregatzustand der festen, flüssigen oder gasförmigen Phase vorliegen kann.

Weiterhin kann die photonische Struktur invers ausgebildet werden, d.h. die photonische Struktur wird mit periodisch angeordneten, einander benachbarten säulenförmigen Bereichen gebildet.

Die Parameter der photonischen Struktur, insbesondere ein Durchmesser der Hohlräume 3 und eine Wandstärke zwischen den Hohlräumen 3 bzw. ein Durchmesser und ein

Abstand der säulenartigen Strukturen bei inverser Ausbildung der photonischen Struktur, sind so ausgelegt, daß diese für die einfallende vorzugsweise monochromatische Lichtquelle dem Bereich der Bandkanten, d.h. den Bereich großer nicht linearer Dispersion, entspricht. Dementsprechend wird der oben genannten „Superprisma“-Effekt erzeugt. Dabei ist eine Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle L quer, insbesondere senkrecht zu einer Längsachse der Kanäle 3 bzw. der säulenartigen Bereiche angeordnet.

Das optische Element 1 weist in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel zwei parallel zu einer Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle L angeordnete ebene Seitenflächen 11 auf, welche zudem zueinander parallel ausgerichtet sind. Bevorzugt sind diese ebenen, parallelen Seitenflächen 11 jeweils mit einer Elektrode 7 der Ablenkeinrichtung in Kontakt. Dieses Elektrodenpaar 7 ist in diesem Ausführungsbeispiel direkt am optischen Element 1 zum Anlegen einer Modulationsspannung U angebracht, wobei die Elektroden 7 parallel zu einer Durchstrahlrichtung der elektromagnetischen Welle L durch das optische Element 1 angeordnet sind. Eine Elektrodenform und eine Elektrodengröße ist vorzugsweise so gewählt, daß das elektrische Feld das optische Element 1 homogen durchsetzt.

Das optische Element bzw. die Ablenkeinrichtung bzw. das Ablenkverfahren sind jedoch nicht auf diese konkrete Ausführung des bevorzugten Ausführungsbeispiels beschränkt. So ist die parallele Anordnung der Seitenflächen 11 zueinander und relativ zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle oder der direkte Kontakt der Elektroden 7 zu den Seitenflächen 11 oder die Ausbildung des elektrischen Feldes lediglich bevorzugt, jedoch nicht zwingend und können ohne wesentliche Veränderungen modifiziert werden.

In diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel mit dem elektrooptische und piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material LiNbO_3 wird durch Anlegen eines elektrischen Feldes eine Geometrie bzw. ein Brechungsindex des optischen Elementes 1 verändert und dementsprechend eine Beeinflussung einer die Struktur durchlaufenden elektromagnetischen Welle erzielt. Wie in Fig. 1 gezeigt, ist das optische Element als eine Sammellinse ausgebildet. Mittels des elektrischen Feldes wird dementsprechend eine Lage eines Brennpunktes der austretenden elektromagnetischen Welle beeinflusst. In

Fig. 1 ist diese Beeinflussung durch eine Verschiebung des Brennpunktes P1 zum Brennpunkt P2 dargestellt.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel des optischen Elementes 1 ist dasselbe aus einem magnetooptischen Material gefertigt, wobei die Beeinflussung der elektromagnetischen Welle dementsprechend durch ein Anlegen und eine Modulation eines magnetischen Feldes erfolgt.

Die photonische Struktur 2 des optischen Elementes 1 wird gemäß dem Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen durch Erzeugung einer periodischen ferroelektrischen Domänenstruktur mit nachfolgendem selektiven Ätzen in dem elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Material ausgebildet. Dieses Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen wird nachfolgend für ein bestimmtes Material, in diesem Falle LiNbO_3 durch insbesondere naßchemisches Ätzen mit HF/HNO_3 exemplarisch beschrieben, ohne auf dieses konkrete Ausführungsbeispiel beschränkt zu sein. So können beispielsweise andere Materialien wie BaTiO_3 und LiTaO_3 oder andere Ätzmittel oder andere Ätzverfahren (beispielsweise plasmachemisches Ätzen) eingesetzt werden, ohne daß wesentliche Änderungen des Verfahrens zur Herstellung photonischer Strukturen notwendig sind.

In diesem exemplarischen Ausführungsbeispiel (siehe Fig. 5) erfolgt eine Vorstrukturierung des in diesem Falle eindomänigen, elektrooptischen und piezoelektrischen Ausgangsmaterials, indem mittels eines lokal angelegten elektrischen Feldes entsprechend invertierte Domänenbereiche erzeugt werden, wobei eine Definition der Geometrie, insbesondere eines Durchmessers und einer Querschnittsform der Kanäle 3 über die Domänenwände 3a zwischen der ursprünglichen Domänenpolarisation D1 und der invertierten Domänenpolarisation D2 definiert ist. Domänenbereiche mit invertierter Polarisation D2 werden in dem insbesondere naßchemischen oder plasmachemischen Ätzvorgang bevorzugt geätzt, während das Material mit der ursprünglichen Polarisation D1 (umgekehrte Polarisation) nicht geätzt wird. In Fig. 5 sind die unterschiedlich polarisierten Domänenbereiche D1, D2 durch die oberhalb des prismatisch ausgebildeten optischen Elementes 1 schematisch angedeuteten Koordinatensysteme dargestellt, die unterschiedliche Polarisation ist durch die Richtungen der zur Oberfläche des optischen Elementes 1 senkrecht angeordneten Achsen (c-Achse) gezeigt.

Die Domänenwände 3a wirken dabei als Ätzstopp, wodurch eine exakte Definition der Geometrie und der Periode der photonischen Struktur 2 im unteren Mikrometerbereich ermöglicht wird. Da die Ätzung nur in einer Richtung, also in die Tiefe entlang der c-Achse, erfolgt, sind frei wählbare Aspektverhältnisse, also Verhältnisse zwischen Tiefe zu Breite bzw. Durchmesser der Kanäle realisierbar.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Herstellung photonischer Strukturen wird ein lokales, magnetisches Feld zur Vorstrukturierung verwandt. Die weiteren Prozeßschritte entsprechen sinngemäß den vorgenannten.

In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel des optischen Elementes 1 als Element der im Rahmen der Beschreibung von Fig. 1 erläuterten Ablenkeinrichtung dargestellt. Aufgrund des „Superprisma“-Effektes, kann durch geringfügige Änderungen des effektiven Brechungsindex ein Ablenkwinkel α entsprechend deutlich verändert werden. Auf diese Weise ist also über eine Änderung des Brechungsindex eine (Winkel-) Führung der elektromagnetischen Welle möglich. In Fig. 2 ist eine solche Änderung des Brechungsindex und die daraus resultierende Änderung des Ablenkwinkels α durch zwei mögliche Austrittsrichtungen L1 und L2 der austretenden elektromagnetischen Welle relativ zur eintretenden elektromagnetischen Welle L angedeutet.

Das optische Element 1 ist in diesem Ausführungsbeispiel als prismatischer Körper mit dreieckförmigem Querschnitt und drei im wesentlichen ebenen Seitenfläche ausgebildet. Die Eintrittsfläche 4a der elektromagnetischen Welle L und die Austrittsfläche 5a der elektromagnetischen Welle unter den Richtungen L1 oder L2 sind von zwei der drei ebenen Seitenflächen gebildet. Die dreieckförmigen Grund- und Kopfflächen 11 sind parallel zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle L angeordnet. An diesen Grund- und Kopfflächen 11 ist jeweils eine Elektrode 7 angebracht.

Die photonische Struktur 2 mit den Kanälen 3 ist entsprechend zum im Rahmen von Fig. 1 beschriebenen Ausführungsbeispiel im gesamten Körpervolumen des optischen Elementes 1 ausgebildet.

Mittels des Elektrodenpaares 7 wird vorzugsweise eine Wechselspannung U an das optische Element 1 angelegt. Das Elektroden 7 sind vergleichbar einem Kondensator ausgebildet und zudem vergleichbar einem Kondensator mit zwei Platten angeordnet. Dem entsprechend wird zwischen den Elektroden 7 ein weitgehend homogenes elektrisches Feld erzeugt. Eine Kontur der Elektroden 7 ist dabei vorzugsweise an die Kontur der benachbarten Seitenfläche 11 angepaßt.

Dieses das optische Element 1 weitgehend homogen und bevorzugt vollständig durchsetzende elektrische Feld beeinflusst den Brechungsindex des in diesem Ausführungsbeispiel elektrooptische Eigenschaften aufweisenden Materials des optischen Elementes 1. Diese Beeinflussung ist durch die zwei an der Austrittsfläche 5a unter einem relativen Winkel α angeordneten Pfeile L1 und L2 verdeutlicht.

Eine analoge Strahlführung ist auch über eine Änderung der Abmaße der Struktur des optischen Elementes 1 möglich. Eine derartige Änderung kann z.B. in piezoelektrischen Materialien wiederum durch Veränderung eines angelegten elektrischen Feldes erfolgen.

Eine analoge Strahlführung ist zudem in magnetooptischen Materialien möglich, wobei ein von außen angelegtes magnetisches Feld als Parameter zur Steuerung des Brechungsindex dient.

Wie im Rahmen der vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele des optischen Elementes 1 und der Ablenkeinrichtung beschrieben, kann eine äußere Form der photonischen Struktur 2 einer äußeren Form des optischen Elementes 1 entsprechen, d.h. die photonische Struktur 2 ist im kompletten Körpervolumen des optischen Elementes 1 ausgebildet. Die beschriebene Ausgestaltung des optischen Elementes 1 beispielsweise als Linse (s. Fig. 1) oder als Prisma (s. Fig. 2) und die Ausbildung der photonischen Struktur 2 im kompletten Körpervolumen des optischen Elementes 1 ist jedoch nur als ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel zu verstehen. So kann in anderen Ausführungsbeispielen der Körper des optischen Elementes 1 eine beliebige Form, insbesondere plättchenförmig, annehmen. Die photonische Struktur 2 innerhalb des optischen Elementes 1 kann nur in einem Teilbereich des optischen Elementes 1 ausgebildet sein und eine beliebige vorbestimmte Form innerhalb des optischen Elementes annehmen.

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel für ein solches optisches Element 1 angegeben. In diesem weist das optische Element 1 eine quaderförmige (plättchenförmige) Außenkontur auf. Eine Kantenlänge der quaderförmigen Außenkontur beträgt vorzugsweise wenige mm, und eine Dicke beträgt vorzugsweise 0,4 bis 0,5 mm (Standard-Waferdicke). Die photonische Struktur 2 weist die aus Fig. 2 bekannte prismatische Struktur mit dreieckförmiger Querschnittsfläche auf.

In dem in Fig.3 gezeigten Ausführungsbeispiel tritt die elektromagnetische Welle L über eine Seitenfläche 13 des quaderförmigen Grundkörpers des optischen Elementes 1 in das optische Element 1 ein. Die elektromagnetische Welle L durchläuft das optische Element 1 vorzugsweise unbeeinflusst bis zum Beginn des Bereiches, in dem die photonische Struktur 2 ausgebildet ist. Der Bereich des optischen Elementes 1 zwischen der Eintrittsfläche 13 des optischen Elementes 1 und der Eintrittsfläche 4b der photonischen Struktur 2 ist vorzugsweise aus einem Material geformt, das im Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Welle L nicht absorbiert.

Im Bereich der photonischen Struktur 2 wird die das optische Element 1 durchlaufende elektromagnetische Welle L entsprechend den schon beschriebenen Effekten in ihrer Ausbreitungsrichtung beeinflusst.

Nach Austritt aus der photonischen Struktur über die Austrittsfläche 5b durchläuft die elektromagnetische Welle L mit einer veränderten Ausbreitungsrichtung einen weiteren Bereich des optischen Elementes 1. Dieser weitere Bereich ist wiederum vorzugsweise aus einem Material geformt, das im Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Welle nicht absorbiert.

Die elektromagnetische Welle L tritt aus dem optischen Element 1 unter der veränderten Ausbreitungsrichtung aus. Dieser Austrittsvorgang unter der veränderten Ausbreitungsrichtung ist schematisch durch die Richtungspfeile L1 und L2 an der Austrittsfläche 14 des optischen Elementes 1 angedeutet.

An zwei, parallel zur ursprünglichen Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle L angeordneten Seitenflächen 11 sind wiederum jeweils eine Elektrode 7 der Ablenkeinrichtung angebracht. Die Grundflächen sind in diesem Ausführungsbeispiel recht-

eckig, d.h. an die Geometrie der entsprechenden Seitenflächen angepaßt, ohne auf diese konkrete Ausgestaltung beschränkt zu sein. Die Ablenkeinrichtung ist zudem nicht auf einen direkten Kontakt zwischen den Elektroden 7 und den jeweiligen Seitenflächen 11 des optischen Elementes 1 festgelegt. Die Elektroden 7 können ohne wesentliche Änderungen der Ablenkeinrichtung auch zu den Seitenflächen 11 beabstandet sein.

Weist das Material, in das die photonische Struktur 2 eingeformt ist, elektrooptische Eigenschaften aus, erfolgt die Ablenkung der elektromagnetischen Welle L dementsprechend über eine Änderung des Brechungsindex mittels einer Änderung des angelegten elektrischen Feldes. Eine analoge Strahlführung ist wiederum auch in magnetooptischen Materialien möglich, wobei ein von außen angelegtes magnetisches Feld als Parameter zur Steuerung des Brechungsindex dient.

In dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel der Ablenkeinrichtung sind die Elektroden benachbart zu der Eintrittsfläche 4c und der Austrittsfläche 5c der elektromagnetischen Welle L angeordnet. In diesem Fall weisen die Elektroden 7 eine vorzugsweise streifenförmige Aussparung 8 auf, wobei die streifenförmigen Aussparungen 8 in der Ausbreitungsebene der elektromagnetischen Welle und in der Ablenkebene der elektromagnetischen Welle liegen, so daß Strahleintritt und Strahlaustritt bzw. Strahlablenkung nicht behindert sind. Die weiteren Merkmale dieses Ausführungsbeispiels entsprechen dem in Fig. 3 beschriebenen Ausführungsbeispiel, eine detaillierte Beschreibung ist dort dargelegt.

Den beschriebenen Ausführungsbeispielen ist gemeinsam, daß eine Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle L, also eine Modulation eines Ablenk winkels der elektromagnetischen Welle L, mittels eines ein optisches Element 1 durchsetzenden, elektrischen oder magnetischen Feldes erfolgt. Weist das optische Element 1 elektrooptische Eigenschaften auf, so wird ein Brechungsindex und damit ein Ablenk winkel verändert. Weist das optische Element piezoelektrische Eigenschaften auf, so wird ein Ablenk winkel über eine Geometrie veränderung des optischen Elementes ermöglicht, wodurch beispielsweise ein Brennpunkt einer Linse verschoben wird. Weist das optische Element 1 magnetooptische Eigenschaften auf, wird wiederum ein Brechungsindex beeinflußt.

Patentansprüche

1. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen mit einem optischen Element, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) zumindest teilweise aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material ausgebildet ist und das optische Element (1) zumindest in einem Teilbereich eine photonische Struktur (2) aufweist.
2. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photonische Struktur (2) zumindest teilweise im elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material des optischen Elementes (1) ausgebildet ist.
3. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) vollständig aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material besteht.
4. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photonische Struktur (2) im kompletten Körpervolumen des optischen Elementes (1) ausgebildet ist.
5. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) aus LiNbO_3 und/oder BaTiO_3 und/oder LiTaO_3 oder aus einem Mitglied der Granatfamilie, z.B. YIG besteht.
6. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest ein Brechungsindex des optischen Elementes (1) und/oder zumindest eine Abmessung des optischen Elementes (1) veränderbar ist.

7. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes (6), wobei ein mittels der Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes (6) erzeugtes, elektrisches oder magnetisches Feld das optische Element (1) zumindest teilweise und bevorzugt homogen durchsetzt.
8. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes (6) mehrere, insbesondere zwei Elektroden (7) aufweist.
9. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elektroden (7) unmittelbar mit dem optischen Element (1) in Kontakt sind.
10. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach einem der vorhergehenden Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Elektroden (7) parallel zueinander und senkrecht zu oder in Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle (L) angeordnet sind.
11. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle (L) angeordneten Elektroden (7) als Eintrittsflächen oder Austrittsflächen für die elektromagnetische Welle (L) dienende und insbesondere streifenförmige Aussparungen (8) aufweisen.
12. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photonische Struktur (2) einen sich entlang der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle (L) periodisch verändernden Brechungsindex aufweist.
13. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12, **gekennzeichnet durch** einen nichtlinearen

Brechungsindex der photonischen Struktur (2), wobei der nichtlineare Brechungsindex der photonischen Struktur (2) der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle (L) angepasst ist.

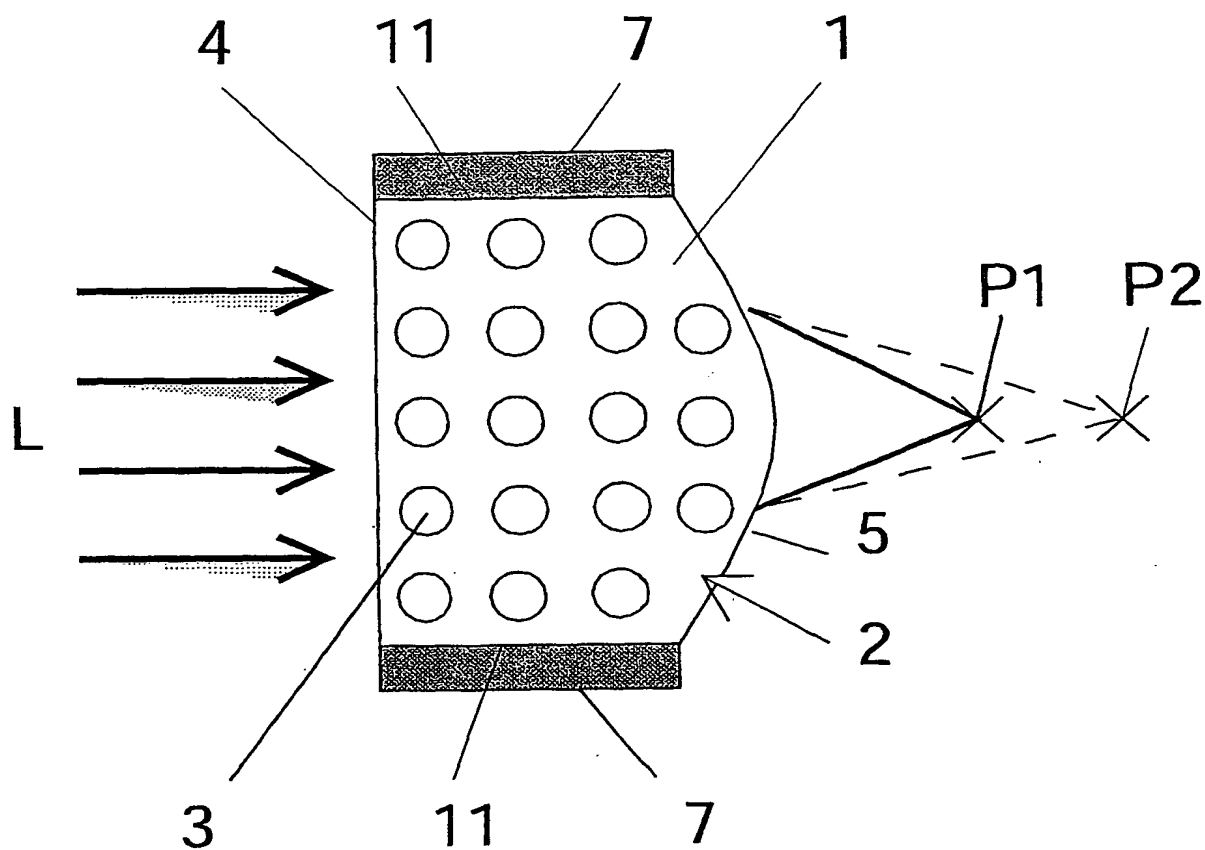
14. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 13, **gekennzeichnet durch** einen anisotropen Brechungsindex der photonischen Struktur (2), wobei eine Mehrzahl an isoenergetische Dispersionsoberflächen in der photonischen Struktur (2) ausgebildet sind.
15. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photonische Struktur (2) im wesentlichen periodisch angeordnete Hohlräume (3) und/oder eine im wesentlichen periodisch angeordnete Struktur mit einander benachbarten säulenförmigen Bereichen aufweist.
16. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hohlräume (3) und/oder die säulenförmigen Bereiche quer, insbesondere senkrecht zu der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle (L) angeordnet sind.
17. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach einem der Ansprüche 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hohlräume (3) als Kanäle ausgebildet sind, wobei die Kanäle im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind.
18. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hohlräume (3) mit einem weiteren, in einer festen oder einer flüssigen oder einer gasförmigen Phase oder in einem überlagerten Aggregatzustand der festen, flüssigen oder gasförmigen Phase vorliegenden Medium erfüllt sind.
19. Ablenkeinrichtung für elektromagnetische Wellen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine äußere Kontur des optischen Elementes (1) und/oder der photonischen Struktur (2) als

Prisma oder als Linse ausgeformt ist.

20. Optisches Element zur Ablenkung elektromagnetische Wellen mit einer zumindest in einem Teilbereich ausgebildeten photonischen Struktur, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) zumindest teilweise ein elektrooptisches und/oder magnetooptisches und/oder piezoelektrisches Material aufweist.
21. Optisches Element nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) vollständig aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material besteht.
22. Optisches Element nach einem der Ansprüche 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photonische Struktur (2) zumindest teilweise im elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material des optischen Elementes (1) ausgebildet ist.
23. Optisches Element nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß das optische Element (1) aus LiNbO_3 und/oder BaTiO_3 und/oder LiTaO_3 oder aus einem Mitglied der Granatfamilie, z.B. YIG besteht.
24. Optisches Element nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest ein Brechungsindex des optischen Elementes (1) und/oder zumindest eine Abmessung des optischen Elementes (1) veränderbar ist.
25. Optisches Element nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 20 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Außenkontur des optischen Elementes (1) und/oder eine Außenkontur der photonischen Struktur (2) als optische Linse oder als Prisma ausgebildet ist.
26. Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen, **gekennzeichnet durch** eine Modulation eines Ablenkwinkels einer elektromagnetischen Welle (L) mittels eines elektrooptischen und/oder piezoelektrischen Effektes durch eine Modulation

eines ein optisches Element (1) durchsetzenden, elektrischen Feldes oder mittels eines magnetooptischen Effektes durch eine Modulation eines das optische Element (1) durchsetzenden, magnetischen Feldes.

27. Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen **gekennzeichnet durch** eine Erzeugung einer periodischen Domänenstruktur (D1,D2) mit nachfolgendem selektivem Ätzen in einem elektrooptischen und/oder magnetooptischen und/oder piezoelektrischen Material.
28. Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen nach Anspruch 27, **gekennzeichnet durch** eine Vorstrukturierung des eindomänigen (D1), ferroelektrischen, elektrooptischen und/oder piezoelektrischen Materials, wobei zunächst entsprechend invertierte Domänenbereiche (D2) mittels eines lokal angelegten, elektrischen Feldes erzeugt werden oder eine Vorstrukturierung des eindomänigen (D1) und magnetooptischen Materials, wobei zunächst entsprechend invertierte Domänenbereiche (D2) mittels eines lokal angelegten, magnetischen Feldes erzeugt werden.
29. Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen nach einem der Ansprüche 27 oder 28, **dadurch gekennzeichnet**, daß Domänenbereiche (D2) mit invertierter Polarisation in einem insbesondere nasschemischen oder plasmachemischen Ätzschritt bevorzugt geätzt werden.
30. Verfahren zur Herstellung photonischer Strukturen nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 27 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels der unterschiedlich polarisierten Domänenbereiche eine Periode und eine Geometrie der photonischen Struktur (2) vorgegeben wird, wobei ein Ätzstopp mittels der Domänenwände (3a) vorgegeben wird.

**Fig. 1**

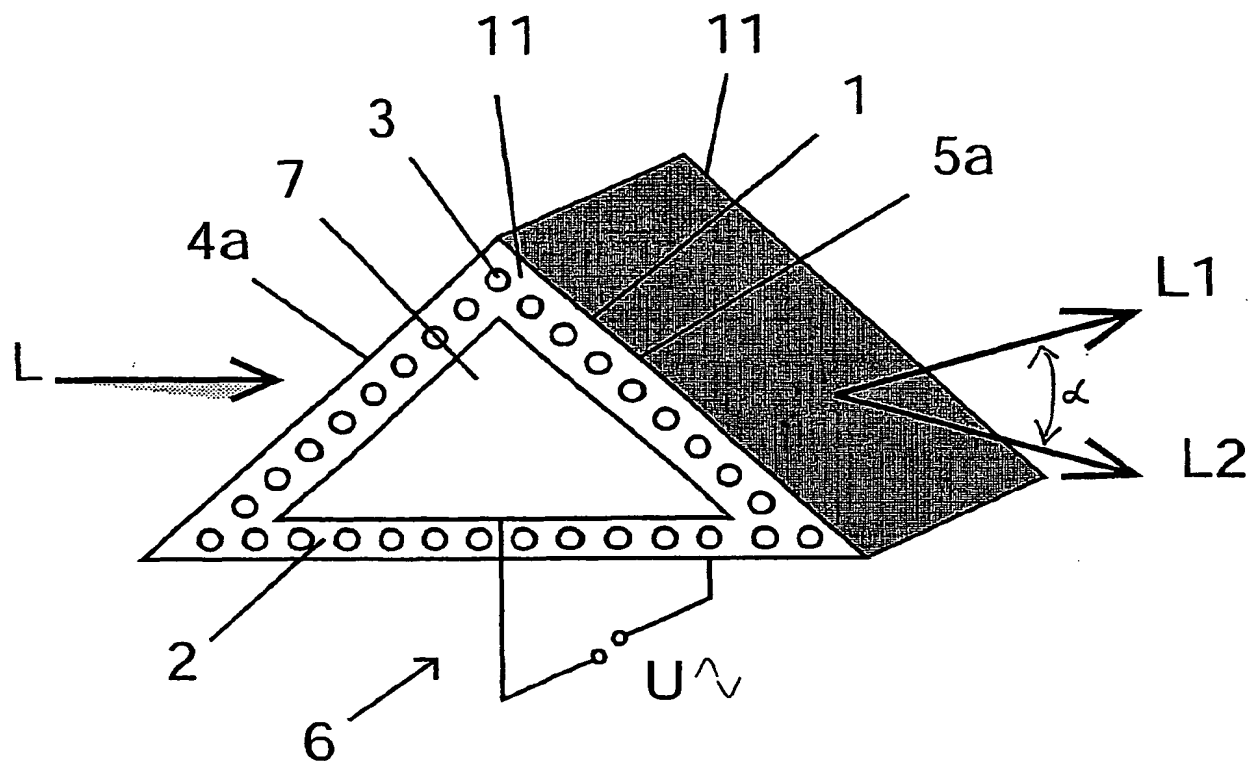


Fig. 2

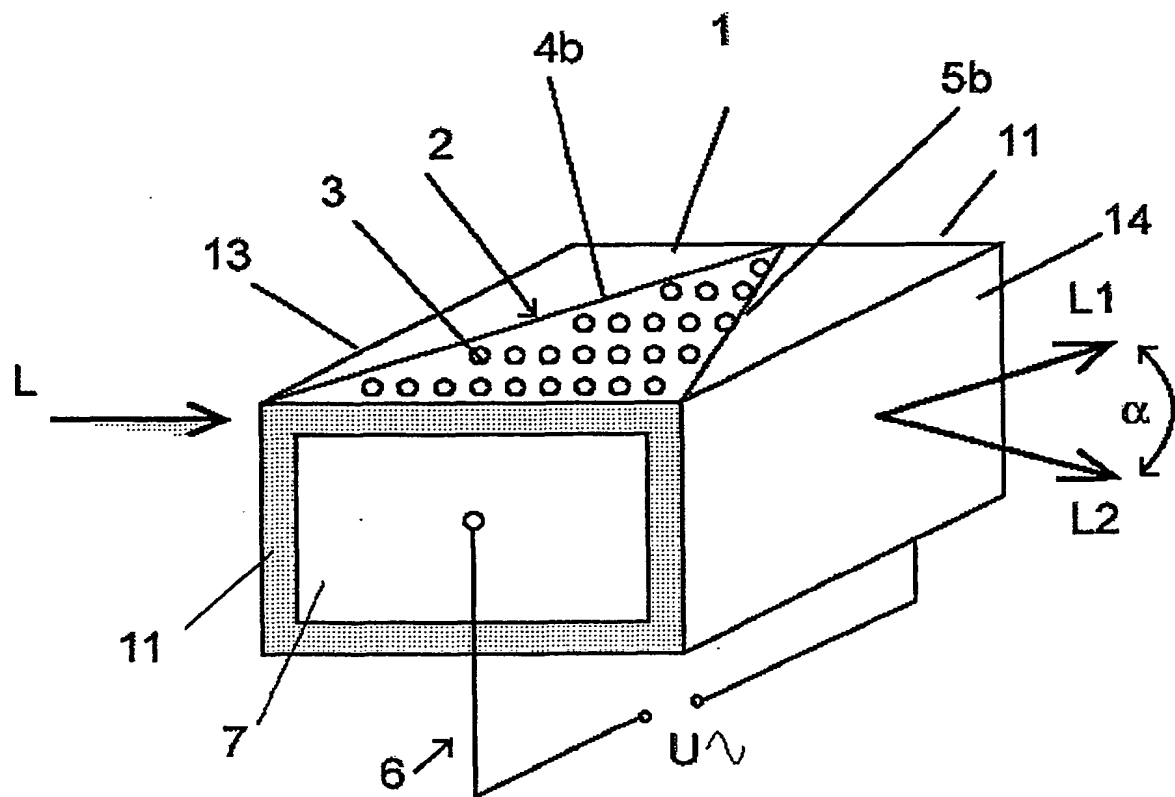


Fig. 3

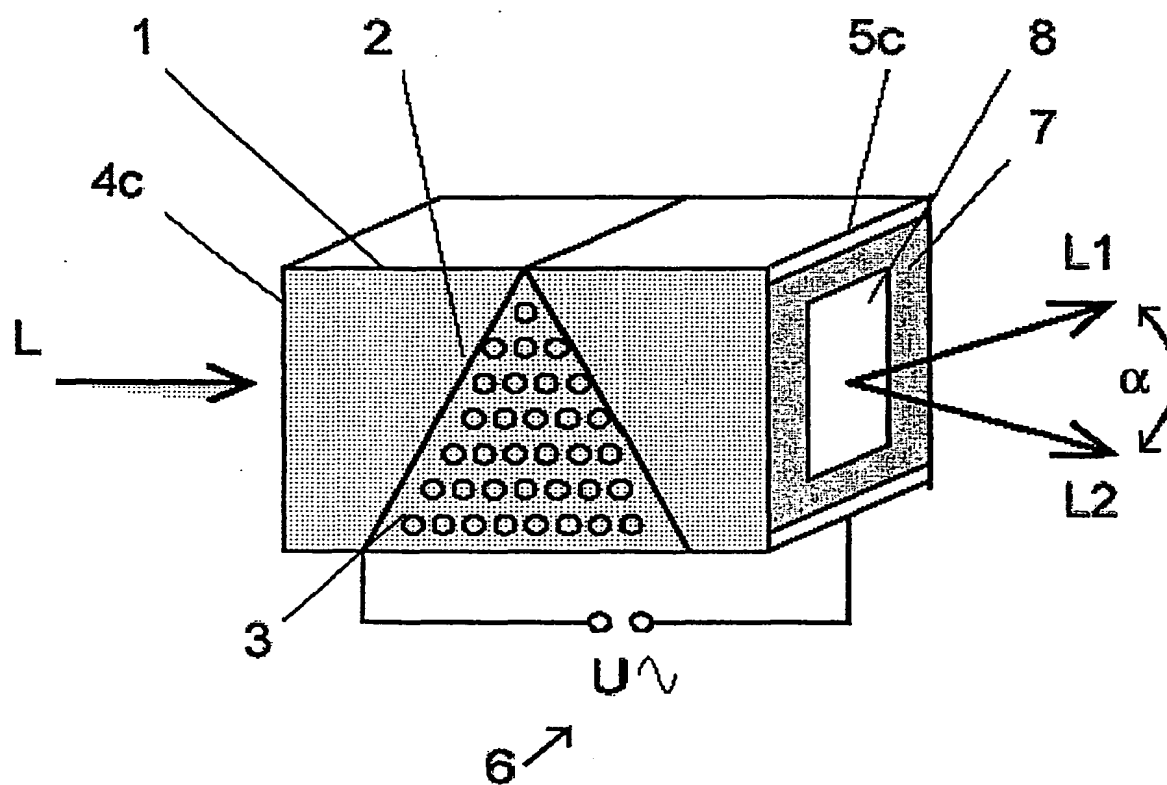


Fig. 4

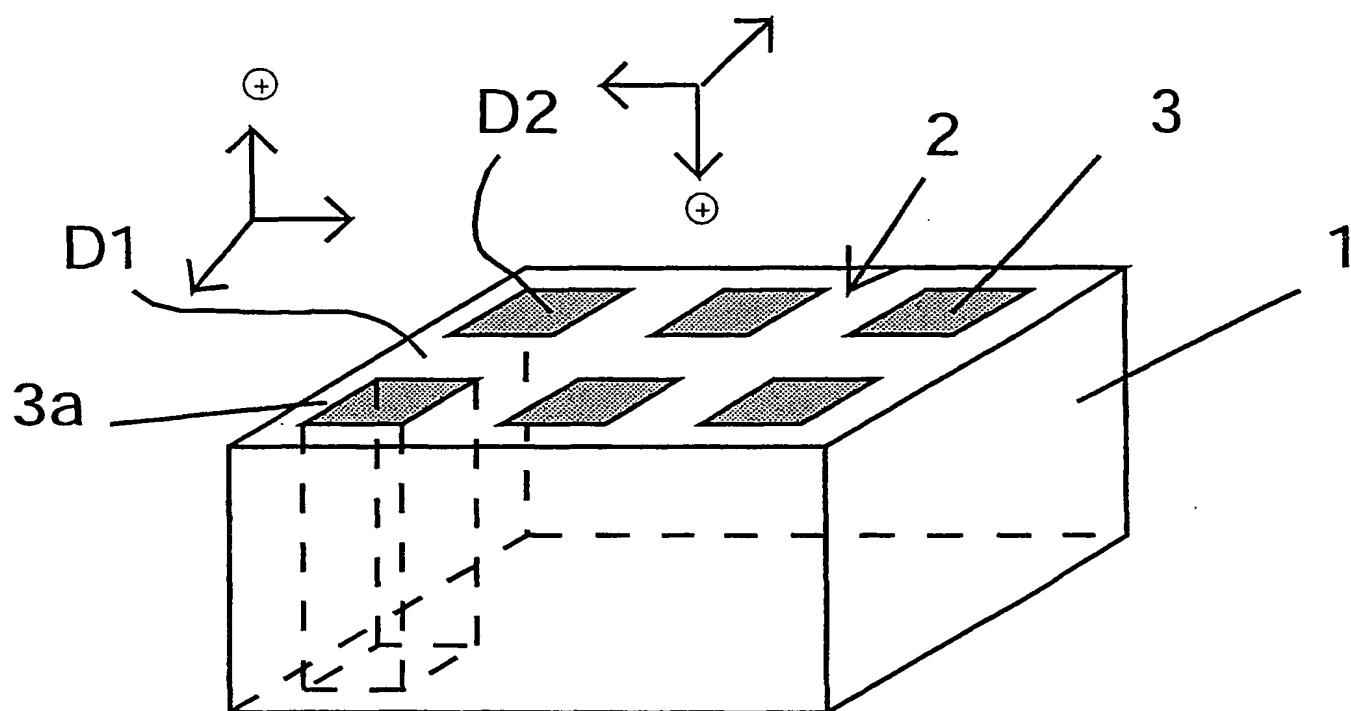


Fig. 5

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Januar 2003 (16.01.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/005119 A3

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02F 1/29,
1/355, G02B 26/08

ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstr. 54, 80636
München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/06134

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Juni 2002 (04.06.2002)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FEISST, Arno
[DE/DE]; Waldstr. 29, 79194 Gundelfingen (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: GRÜNECKER, KINKELDEY, STOCK-
MAIR & SCHWANHÄUSSER; Maximilianstr. 58,
80538 München (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 32 850.8 6. Juli 2001 (06.07.2001) DE

(81) Bestimmungsstaat (national): US.

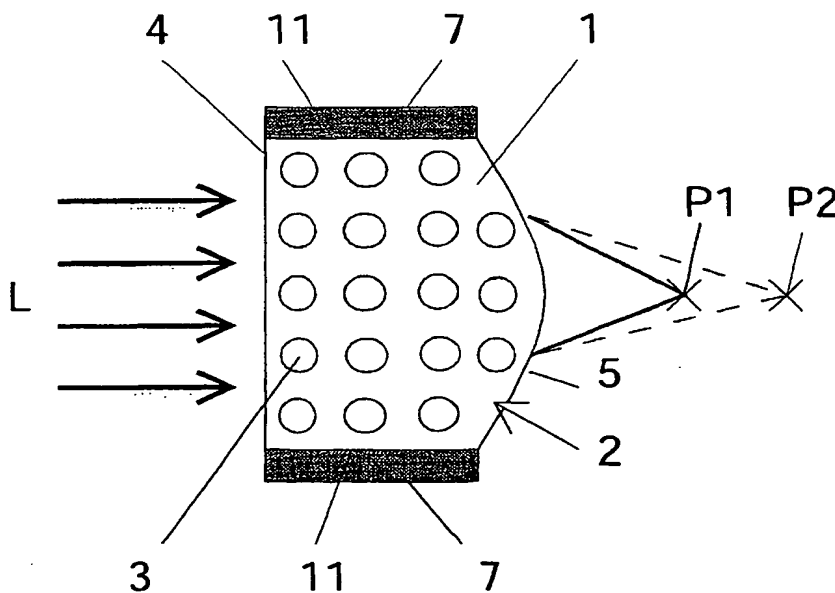
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Aus-
nahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEFLECTING DEVICE AND METHOD FOR DEFLECTING ELECTROMAGNETIC WAVES, OPTICAL
ELEMENT THEREFOR, AND METHOD FOR PRODUCING PHOTONIC STRUCTURES

(54) Bezeichnung: ABLENKEINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ABLENKUNG ELEKTROMAGNETISCHER WEL-
LEN UND OPTISCHES ELEMENT HIERFÜR, SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG PHOTONISCHER STRUKTU-
REN



(57) Abstract: The invention relates to a device and method for influencing electromagnetic waves and to an optical element there-
for, whereby the optical element is comprised of a material having electro-optical and/or magneto-optical and/or piezoelectrical
properties and has at least one photonic structure provided in a section. The invention also relates to a method for producing pho-
tonic structures, particularly in optical elements of the aforementioned type.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/005119 A3



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

**(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen
Recherchenberichts:**

24. April 2003

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Beeinflussung elektromagnetischer Wellen und ein optisches Element hierfür, wobei das optische Element aus einem elektrooptische und/oder magnetooptische und/oder piezoelektrische Eigenschaften aufweisenden Material besteht und zumindest eine in einem Teilbereich ausgebildete photonische Struktur aufweist, sowie ein Verfahren zur Herstellung von photonischen Strukturen, insbesondere bei solchen optischen Elementen.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 02/06134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02F1/29 G02F1/355 G02B26/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	EP 1 243 966 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 25 September 2002 (2002-09-25) column 2, line 29 - line 32 column 7, line 15 - column 12, line 38; figures 1A,1B,2A,2B,4A,4B ---	1-18, 20-24
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 20, 10 July 2001 (2001-07-10) -& JP 2001 075040 A (RICOH CO LTD), 23 March 2001 (2001-03-23) abstract page 39 -page 50; figures 1-3 ---	1-25
P,A	US 2001/026659 A1 (HATANO TAKUJI ET AL) 4 October 2001 (2001-10-04) page 41 -page 53 page 60; figures 3,4 ---	1-25
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 January 2003

Date of mailing of the international search report

23. 01. 03

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Petitpierre, O

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 802 222 A (ROTTSCALK MATTHIAS ET AL) 1 September 1998 (1998-09-01) column 22, line 15 - line 18 column 22, line 26 - line 31 ---	26
A	US 3 544 202 A (FOWLER VERNON J) 1 December 1970 (1970-12-01) column 4, line 19 - line 75 ---	26
X	WO 98 46813 A (ROSS GRAEME WILLIAM ;BARRY IAN ERIC (GB); EASON ROBERT WILLIAM (GB) 22 October 1998 (1998-10-22) page 10, line 18 - line 22 page 13, line 24 - line 27 ---	27-30
Y	US 5 526 449 A (JOANNOPOULOS JOHN ET AL) 11 June 1996 (1996-06-11) column 2, line 46 - line 51 column 4, line 59 - line 67 column 6, line 12 - line 17 column 7, line 38 - line 59 ---	27-30
Y	EP 0 863 117 A (NGK INSULATORS LTD) 9 September 1998 (1998-09-09) column 1, line 13 - line 18 column 1, line 31 - line 33 column 1, line 49 -column 2, line 19 -----	27-30

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

EP02/06134

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely

1. Claims: 1-25

Claims 20-25 relate to an optical element comprising a photonic structure and Claims 1-19 relate to a deflecting device comprising an element of this type.

2. Claim: 26

Claim 26 relates to a general method for deflecting electromagnetic waves using an electric or magnetic field.

3. Claims: 27-30

Claims 27-30 relate to a method for producing an element with a photonic structure.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No

PCT/EP 02/06134

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1243966	A	25-09-2002	CN 1376941 A	30-10-2002
			EP 1243966 A2	25-09-2002
			US 2002135863 A1	26-09-2002
JP 2001075040	A	23-03-2001	US 6448997 B1	10-09-2002
US 2001026659	A1	04-10-2001	JP 2001281714 A	10-10-2001
US 5802222	A	01-09-1998	DE 19503929 A1	08-08-1996
			CA 2187199 A1	15-08-1996
			CN 1146841 A	02-04-1997
			DE 19549395 A1	31-10-1996
			WO 9625009 A1	15-08-1996
			EP 0754392 A1	22-01-1997
			JP 9512353 T	09-12-1997
US 3544202	A	01-12-1970	NONE	
WO 9846813	A	22-10-1998	AU 7063298 A	11-11-1998
			DE 69802791 D1	17-01-2002
			DE 69802791 T2	20-06-2002
			EP 0975828 A1	02-02-2000
			WO 9846813 A1	22-10-1998
			GB 2339554 A ,B	02-02-2000
			JP 2002501468 T	15-01-2002
			US 6344150 B1	05-02-2002
US 5526449	A	11-06-1996	CA 2153485 A1	21-07-1994
			DE 69430361 D1	16-05-2002
			EP 0678196 A1	25-10-1995
			JP 8505707 T	18-06-1996
			WO 9416345 A1	21-07-1994
EP 0863117	A	09-09-1998	JP 10246900 A	14-09-1998
			DE 69802727 D1	17-01-2002
			DE 69802727 T2	22-08-2002
			EP 0863117 A2	09-09-1998
			US 6117346 A	12-09-2000

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G02F1/29 G02F1/355 G02B26/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02F G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	EP 1 243 966 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 25. September 2002 (2002-09-25) Spalte 2, Zeile 29 - Zeile 32 Spalte 7, Zeile 15 - Spalte 12, Zeile 38; Abbildungen 1A, 1B, 2A, 2B, 4A, 4B	1-18, 20-24
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 20, 10. Juli 2001 (2001-07-10) -& JP 2001 075040 A (RICOH CO LTD), 23. März 2001 (2001-03-23) Zusammenfassung Seite 39 - Seite 50; Abbildungen 1-3	1-25
P, A	US 2001/026659 A1 (HATANO TAKUJI ET AL) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Seite 41 - Seite 53 Seite 60; Abbildungen 3, 4	1-25
	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Januar 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23. 01. 03

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Petitpierre, O

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 802 222 A (ROTTSCHALK MATTHIAS ET AL) 1. September 1998 (1998-09-01) Spalte 22, Zeile 15 - Zeile 18 Spalte 22, Zeile 26 - Zeile 31 ----	26
A	US 3 544 202 A (FOWLER VERNON J) 1. Dezember 1970 (1970-12-01) Spalte 4, Zeile 19 - Zeile 75 ----	26
X	WO 98 46813 A (ROSS GRAEME WILLIAM ; BARRY IAN ERIC (GB); EASON ROBERT WILLIAM (GB) 22. Oktober 1998 (1998-10-22) Seite 10, Zeile 18 - Zeile 22 Seite 13, Zeile 24 - Zeile 27 ----	27-30
Y	US 5 526 449 A (JOANNOPOULOS JOHN ET AL) 11. Juni 1996 (1996-06-11) Spalte 2, Zeile 46 - Zeile 51 Spalte 4, Zeile 59 - Zeile 67 Spalte 6, Zeile 12 - Zeile 17 Spalte 7, Zeile 38 - Zeile 59 ----	27-30
Y	EP 0 863 117 A (NGK INSULATORS LTD) 9. September 1998 (1998-09-09) Spalte 1, Zeile 13 - Zeile 18 Spalte 1, Zeile 31 - Zeile 33 Spalte 1, Zeile 49 - Spalte 2, Zeile 19 -----	27-30

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 02/06134

Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☒ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☒ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-25

Ansprüche 20-25 betreffen ein optisches Element mit photonischer Struktur und Ansprüche 1-19 betreffen eine Ablenkeinrichtung mit einem solchen Element.

2. Anspruch : 26

Anspruch 26 betrifft ein allgemeines Verfahren zur Ablenkung elektromagnetischer Wellen mittels Anwendung eines elektrischen oder magnetischen Feldes.

3. Ansprüche: 27-30

Ansprüche 27-30 betreffen ein Verfahren zur Herstellung eines Elementes mit photonischer Struktur.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1243966	A	25-09-2002	CN 1376941 A	30-10-2002
			EP 1243966 A2	25-09-2002
			US 2002135863 A1	26-09-2002
JP 2001075040	A	23-03-2001	US 6448997 B1	10-09-2002
US 2001026659	A1	04-10-2001	JP 2001281714 A	10-10-2001
US 5802222	A	01-09-1998	DE 19503929 A1	08-08-1996
			CA 2187199 A1	15-08-1996
			CN 1146841 A	02-04-1997
			DE 19549395 A1	31-10-1996
			WO 9625009 A1	15-08-1996
			EP 0754392 A1	22-01-1997
			JP 9512353 T	09-12-1997
US 3544202	A	01-12-1970	KEINE	
WO 9846813	A	22-10-1998	AU 7063298 A	11-11-1998
			DE 69802791 D1	17-01-2002
			DE 69802791 T2	20-06-2002
			EP 0975828 A1	02-02-2000
			WO 9846813 A1	22-10-1998
			GB 2339554 A , B	02-02-2000
			JP 2002501468 T	15-01-2002
			US 6344150 B1	05-02-2002
US 5526449	A	11-06-1996	CA 2153485 A1	21-07-1994
			DE 69430361 D1	16-05-2002
			EP 0678196 A1	25-10-1995
			JP 8505707 T	18-06-1996
			WO 9416345 A1	21-07-1994
EP 0863117	A	09-09-1998	JP 10246900 A	14-09-1998
			DE 69802727 D1	17-01-2002
			DE 69802727 T2	22-08-2002
			EP 0863117 A2	09-09-1998
			US 6117346 A	12-09-2000